

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

1 / 1

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-303244

(43)Date of publication of application : 18.10.2002

(51)Int.Cl.

F03B 15/04

F03B 3/10

H02P 9/04

(21)Application number : 2001-106613

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 05.04.2001

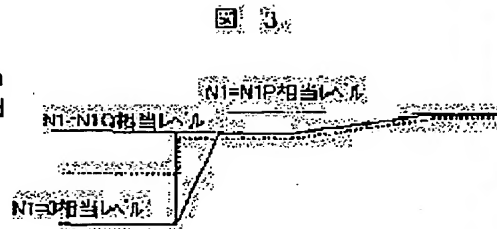
(72)Inventor : KUWABARA HISAO

## (54) PUMP TURBINE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the stability of the rotational speed of a turbine at the start of operation and to extend the range of the head to be synchronized.

SOLUTION: The pump turbine can be operated both in the pump-up mode and in the generator mode by changing the direction of rotation of a runner. The quantity of water passing the runner is adjusted with a wicket gate-opening device and the rotation speed of the runner is detected. When the generation is started, the target number of rotation is set at the rotation speed different from a rating rotational frequency. After the rotation speed reaches the target rotation speed, the responsiveness of the water quantity adjusting means is controlled to be lower than before reaching the target number.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-303244  
(P2002-303244A)

(43) 公開日 平成14年10月18日 (2002. 10. 18)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト <sup>*</sup> (参考)
F 0 3 B 15/04		F 0 3 B 15/04	G 3 H 0 7 2
	3/10		H 3 H 0 7 3
H 0 2 P 9/04		H 0 2 P 9/04	Z 5 H 5 9 0
			C

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-106613(P2001-106613)

(22) 出願日 平成13年4月5日 (2001. 4. 5)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 桑原 尚夫

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会

社日立製作所火力・水力事業部内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

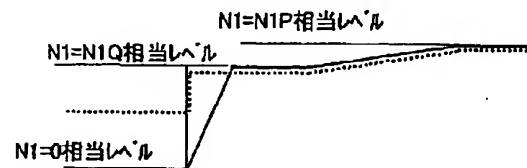
(54) 【発明の名称】 ポンプ水車

(57) 【要約】

【課題】水車起動時の回転速度の安定性を改善し、同期可能な落差範囲を拡大する。

【解決手段】ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能なものであって、ランナーを通過する水量を案内羽根開度器で調整し、ランナーの回転速度を検出し、発電起動時に、目標回転数を定格回転数と異なる回転速度に設定し、目標回転速度に到達した後は目標化点数に達する前よりも、水量調整手段の応答性を低くして制御する。

図 3



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】ランナーと、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能なポンプ水車において、前記水量制御手段を制御することで回転速度を制御する回転速度制御手段を有し、起動時に回転速度を定格回転速度まで昇速するに際して、回転速度が前記定格回転速度より低い第1の所定回転速度に到達した後の回転速度変化勾配は、前記第1の所定回転速度に到達する前の回転速度上昇勾配に比べて、小さくなるように前記回転速度制御手段を制御することを特徴とするポンプ水車。

【請求項2】請求項1において、回転速度が前記第1の回転速度に到達した段階で、一旦、回転速度変化勾配を下げるか、実質的にゼロに保持し、その後、昇速を再開することを特徴とするポンプ水車。

【請求項3】請求項2において、前記第1の所定回転速度からの再昇速過程では、前記第1の所定回転速度で保持中に一旦減衰したポンプ水車上流あるいは下流管路内の水撃が発生しない程度に回転速度上昇勾配を充分小さくするようにしたことを特徴とするポンプ水車。

【請求項4】請求項3において、落差を第6の所定落差と比較する比較手段を備え、落差が前記第6の落差より小さい場合に、前記第1の所定回転速度前後の回転速度上昇勾配の切換を行うようにしたことを特徴とするポンプ水車。

【請求項5】ランナーと、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能なポンプ水車において、落差を第2の所定落差と比較する比較手段と、前記ランナーの回転速度を検出する回転速度検出手段と、前記検出回転速度に基づいて回転速度が与えられた指令値に収斂するように前記水量制御手段を制御する回転速度制御手段を有し、起動時に回転速度を定格回転速度まで昇速する過程で、前記比較手段の比較結果に基づき、落差が前記第2の落差より小さい場合、前記第2の落差より大きい場合と比べて、少なくとも回転速度が前記定格回転速度に導かれる同期段階において、前記回転速度制御手段の応答速度を下げることを特徴とするポンプ水車。

【請求項6】ランナーと、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能なポンプ水車において、落差を第3の所定落差と比較する比較手段と、前記水量制御手段を制御することで回転速度を制御する回転速度制御手段を有し、起動時に回転速度を定格回転速度まで昇速するに際して、前記比較の結果、落差が前記第3の所定落差より小さい場合、落差が前記第3の所定落差より大きい場合と比べて、少なくとも回転速度が前記定格回転速度に導かれる同期段

階においては、回転速度上昇勾配がより小さくなるようにしたことを特徴とするポンプ水車。

【請求項7】ランナーと、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能なポンプ水車において、前記水量制御手段を制御することで回転速度を制御する回転速度制御手段を有し、起動時に回転速度を定格回転速度まで昇速するには、回転速度を一旦前記定格回転速度より高い第4の所定回転速度を導き、その後、定格速度へと導き、前記第4の所定回転速度に到達した後の回転速度下げ勾配は、前記第4の所定回転速度に到達するまでの回転速度上昇勾配に比べて、小さくなるように前記回転速度制御手段を制御することを特徴とするポンプ水車。

【請求項8】請求項7において、回転速度が前記第4の所定回転速度に到達した段階で、一旦、回転速度変化勾配を下げるか、実質的にゼロに保持し、その後、減速しながらの定格速度への誘導を始めることを特徴とするポンプ水車。

【請求項9】請求項8において、前記第4の所定回転速度からの減速過程では、前記第4の所定回転速度で保持中に一旦減衰したポンプ水車上流あるいは下流管路内の水撃が再発生しない程度に回転速度下げ勾配を充分小さくするようにしたことを特徴とするポンプ水車。

【請求項10】ランナーと、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能なポンプ水車において、前記ランナーの回転速度を検出する回転速度検出手段と、前記検出回転速度に基づいて回転速度が与えられた指令値に収斂するように前記水量制御手段を制御する速度制御手段を有し、起動時に回転速度を定格回転速度まで昇速する過程で、回転速度が前記定格回転速度と異なる第5の所定回転速度に到達した後は、前記第5の所定回転速度に達する前よりも、前記速度制御手段の応答速度が下がるようにしたことを特徴とするポンプ水車。

【請求項11】請求項10において、落差を第2の所定落差と比較する比較手段を備え、落差が前記第2の所定落差より小さい場合に限って、前記第5の所定回転速度における前記回転速度制御手段の応答速度切換を行うようにしたことを特徴とするポンプ水車。

【請求項12】請求項1において、目標回転速度と検出回転速度の偏差に基づいて積分制御を行い、さらに、前記制御の応答性は前記積分制御における積分定数を変化させてなるポンプ水車。

【請求項13】請求項12において、目標回転速度と検出回転速度の偏差に基づいて微分制御を行うことにより前記目標回転速度に近づくように制御するものであり、さらに、前記制御の応答性は前記微分制御における積分定数を変化させてなるポンプ水車。

【請求項14】請求項13において、前記目標値に達した後は、ほぼ負荷流量曲線沿って、前記定格回転数に到達するように前記水量調整手段を制御することを特徴とするポンプ水車。

【請求項15】ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能となし、前記ランナーの回転速度を検出し、前記検出回転速度に基づいて前記目標回転速度に近づくように前記水量を調整し、前記目標回転数を定格回転数と異なる回転速度に設定し、発電起動時に、前記目標回転速度に到達した後は前記目標回転速度に達する前よりも、水量調整の応答性を低くして制御するポンプ水車の制御方法。

【請求項16】ランナーと、前記ランナーのトルクを発電電動機に伝える主軸と、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能にしたポンプ水車に関し、発電モードにおいて前記ランナーの回転速度を検出して前記ランナーの回転速度が指令値となるように前記水量調整手段を制御するガバナを備え、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、回転速度が定格値付近まで上昇したら、それ以前に比べて、前記ガバナの安定性がより改善される方向に前記ガバナの伝達関数が切り換えるようにしたことを特徴にしたポンプ水車。

【請求項17】ランナーと、前記ランナーのトルクを発電電動機に伝える主軸と、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能にしたポンプ水車に関し、発電モードにおいて前記ランナーの回転速度を検出して前記ランナーの回転速度が指令値になるように前記水量調整手段を制御するガバナを備え、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、前記回転速度指令値を、一旦、定格回転速度より低い第1の指令値に設定し、前記第1の指令値付近に回転速度を一時的に維持し、その後は、前記回転速度指令値を徐々に上げていくことによって回転速度を電力系統の周波数相当の同期速度に至らしめることを特徴とするポンプ水車。

【請求項18】請求項16において、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、回転速度が定格値付近まで上昇する前と後で、前記ガバナの演算部の伝達関数が切り換えるようにし、定格値付近まで上昇した後は、それ以前に比べて安定性が改善される方向に切り換えることを特徴にしたポンプ水車。

【請求項19】請求項18において、前記ガバナの演算部が比例、積分、微分の3演算要素を有し、回転速度が定格値付近まで上昇する前と後では、積分演算要素の設定値を切り換えるようにしたことを特徴とするポンプ水車。

【請求項20】請求項17において、回転速度上昇に伴

う流量減少勾配、 $|\partial Q / \partial N|$ または $|\partial Q_1 / \partial N_1|$ または相当の状態量、が急激に立ち上がる直前付近の回転速度に前記第1の指令値を設定するようにしたポンプ水車。

【請求項21】ランナーと、前記ランナーのトルクを発電電動機に伝える主軸と、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能にしたポンプ水車であって、発電モードにおいて前記ランナーの回転速度を検出して前記ランナーの回転速度が指令値となるように前記水量調整手段を制御するガバナを備え、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、前記指令値を、一旦、定格回転速度より低い第1の指令値に設定し、前記回転速度を一時的に維持し、その後、前記指令値を徐々に上げていくことによって回転速度を電力系統の周波数相当速度に同期させるようにし、回転速度が定格値付近まで上昇すると、前記ガバナの安定性がより改善される方向に前記ガバナの伝達関数を切り換えることを特徴とするポンプ水車。

【請求項22】ランナーと、前記ランナーのトルクを発電電動機に伝える主軸と、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能にしたポンプ水車であって、発電モードにおいて前記ランナーの回転速度を検出して前記ランナーの回転速度指令値となるように前記水量調整手段を制御するガバナを備え、発電モードで、少なくとも第2の所定落差以下で起動する場合には、回転速度が同期速度付近またはそれ以上になれば、前記ガバナの安定性が改善される方向に前記ガバナの伝達関数が切り換わるようにし、かつ、少なくとも第3の所定落差以下で起動する場合には、前記指令値を、一旦は、定格回転速度より高い第4の指令値に設定し、ここで回転速度を一旦維持し、その後、前記指令値を徐々に下げていくことによって回転速度を電力系統の周波数相当の同期速度へと徐々に導くことを特徴とするポンプ水車。

【請求項23】ランナーと、前記ランナーのトルクを発電電動機に伝える主軸と、前記ランナーを通過する水量を調整する水量調整手段を備え、前記ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能にしたポンプ水車であって、発電モードにおいて前記ランナーの回転速度を検出して前記ランナーの回転速度が指令値となるように前記水量調整手段を制御するガバナを備え、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、前記指令値を、一旦、定格回転速度より低い第1の指令値に設定し、前記回転速度を一時的に維持し、回転速度を一旦落ち着かせ、水撃等の過渡現象が略落ち着くのを待ち、その後は、前記回転速度指令値を有害な水撃が生じない程度にゆっくり上げていくことによって、回転速度を電力系統の周波数相当の同期速度に至ら

しめることを特徴とするポンプ水車。

【請求項24】請求項21において、前記指令値を一旦は前記第4の指令値に設定し、ここで回転速度を一旦落着かせ、水撃等の過渡現象が略落ち着くのを待ち、その後は、前記回転速度指令値を有害な水撃が生じない程度にゆっくり下げていって、回転速度を電力系統の周波数相当の同期速度に至らしめることを特徴とするポンプ水車。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】ランナーの回転方向を変えて、ポンプ、水車両方の運転を可能にしたポンプ水車に関する。

【0002】

【従来の技術】ポンプ水車はポンプ及び水車両方の運転が可能であり、一般に、ポンプ運転を優先させ、高揚程が得られるように設計される。一方、ポンプ運転を優先させるがために、水車運転に悪影響を残す。すなわち、S字特性と呼ばれる流量特性である。特に、高揚程に適したポンプ水車の場合は顕著である。

【0003】ポンプ水車の流量特性は、一般に、案内羽根開度をパラメータにして単位落差当り回転数 ( $N1 = N/\sqrt{H}$ ) と単位落差当り流量 ( $Q1 = N/\sqrt{H}$ ) との関係を示す一群の特性曲線で表され、水車運転領域において、 $N1$ の値の増加に伴って $Q1$ の値が減少する部分(第1の部分)と、 $N1$ の値の減少に伴って $Q1$ の値が減少する部分(第2の部分)とを有する。前記第1の部分は、さらに、 $N1$ の値の増加に伴って $Q1$ の値が比較的ゆるやかに減少する部分(第1の部分の緩変部分)と、 $N1$ の値の増加に伴って $Q1$ の値が比較的急激に減少する部分(第1の部分の急変部分)に分けられる。第1の部分の急変部分及び第2の部分が、S字特性部分である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ポンプ水車の発電モードにおいては、一般的に、通常運転は、第1の部分の緩変部分において行われる。しかしながら、起動時には、S字特性分に接近せざるを得なくなる。同じ有効落差の下でも、すなわち、同じ $N1$ の下でも水車出力が小さくなればなるほどS字特性部分に接近する。ポンプ水車を発電モードで起動する場合には、流量を少なくともゼロから無負荷相当流量まで増加させる必要があり、運転点が過渡的にS字特性に深く入り込むのである。

【0005】この現象を更に詳細に説明する。発電モードで起動する時は、水車には同期発電機が接続されているので、電力系統に並列するための回転速度(定格回転速度 $N_0$ )まで立ち上げることとなる。発電機負荷(水車出力) $=0$ のままで、回転速度をゼロから定格の $N_0$ まで上げる必要があるが、このことは、 $N1-T1$ 特性上で考えれば、運転点を、停止中の原点( $N1=0$ ,  $T$

$1=0$ )から、 $T1=0$ の水平線と $N1=N_0/\sqrt{H}$ の垂直線の交点まで左側に移動させることになる。 $T1=0$ の水平線と $N1=N_0/\sqrt{H}$ の垂直線の交点まで左側に移動させたときに、回転速度を電力系統周波数に同期させる必要があるが、運転点が、流量特性曲線の第1の部分の緩変部分から外れて、第1の部分の急変部分に位置するのである。従って、起動時には、運転点がS字特性部分に突入または異常接近することになる。

【0006】設計落差が高くなるにつれて、ポンプ水車が偏平形状となる傾向は大きく、S字特性が $N1$ の低い側へ移動してくる傾向は避けられない。高落差ポンプ水車の最低落差では、この傾向は顕著になる。

【0007】S字特性に異常接近または入り込んでいる場合には、水撃の動揺の影響が大きく、同期が困難となる。すなわち、この点付近では $\partial Q1/\partial N1$ の勾配が急激に立ってくるので、回転速度に対する流量変化が速過ぎて水撃が過敏に反応する。そのため、回転速度が定格値付近まで上昇しても、それから、動揺を繰り返し、発電機をスムーズに同期できないという問題が発生する。同期できなければ、発電プラントとして使えないことになるので、その損害は甚大である。

【0008】本発明は水車起動時の回転速度の安定性を改善し、同期可能な落差範囲を拡大できるポンプ水車を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、ランナーの回転方向を切換えることによって揚水、発電の両モードで運転可能となし、ランナーの回転速度を検出し、検出回転速度に基づいて目標回転速度に近づくように水量を調整し、目標回転数を定格回転数と異なる回転速度に設定し、発電起動時に、目標回転速度に到達した後は目標化点数に達する前よりも、水量調整の応答性を低くして制御するように構成した。

【0010】また、上記目的を達成するために、本発明では、発電モードにおいてランナーの回転速度を検出しながらランナーの回転速度が定常的には指令値に落ち着くように水量調整手段を制御するように構成したガバナを備え、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、回転速度が定格値付近まで上昇したら、それ以前に比べて、ガバナの安定性がより改善される方向にガバナの伝達関数を切り換えることである。

【0011】次に、発電モードにおいてランナーの回転速度を検出しながらランナーの回転速度が定常的には指令値に落ち着くように水量調整手段を制御するように構成したガバナを備え、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、回転速度指令値を、一旦は、定格回転速度より低い第1の指令値に設定し、ここで回転速度を一旦落着かせ、水撃等の過渡現象が略落ち着くのを待ち、その後は、回転速度指令値を徐々に上げていって回転速度を電力系統の周波数相当の同期速度

に至らしめることである。

【0012】次に、指令値を一旦は第1の指令値に設定し、ここで回転速度を一旦落ち着かせ、水撃等の過渡現象が略落ち着くのを待ち、その後は、回転速度指令値を有害な水撃が生じない程度にゆっくり上げていって、回転速度をゆっくりと電力系統の周波数相当の同期速度に導くことである。

【0013】次に、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、回転速度が定格値付近まで上昇する前と後で、ガバナの演算部の伝達関数が切り換えるようにし、定格値付近まで上昇した後では、それ以前に比べて安定性が改善される方向に切り換えることである。

【0014】次に、ガバナの演算部が比例、積分、微分の3演算要素を有する場合には、回転速度が定格値付近まで上昇する前と後で、少なくとも積分演算要素の設定値を切り換えることである。

【0015】次に、回転速度上昇に伴う流量減少勾配、 $|\partial Q / \partial N|$ または $|\partial Q_1 / \partial N_1|$ または相当の状態量、が急激に立ち上がる直前付近の回転速度に第1の指令値を設定することである。

【0016】次に、発電モードにおいてランナーの回転速度を検出しながらランナーの回転速度が常時的には指令値に落ち着くように水量調整手段を制御するように構成したガバナを備え、発電モードで、少なくとも所定の落差以下で起動する場合には、指令値を、一旦は、定格回転速度より低い第1の指令値に設定し、ここで回転速度を一旦落ち着かせ、水撃等の過渡現象が略落ち着くのを待ち、その後、指令値を徐々に上げていって回転速度を電力系統の周波数相当速度に同期させるようにし、しかも、回転速度が定格値付近まで上昇したことを条件に、ガバナの安定性がより改善される方向にガバナの伝達関数を切り換えることである。

【0017】次に、発電モードにおいてランナーの回転速度を検出しながらランナーの回転速度が常時的には指令値に落ち着くように水量調整手段を制御するように構成したガバナを備え、発電モードで、少なくとも第2の所定落差以下で起動する場合には、回転速度が同期速度付近またはそれ以上になれば、ガバナの安定性が改善される方向にガバナの伝達関数が切り換わるようにし、かつ、少なくとも第3の所定落差以下で起動する場合には、指令値を、一旦は、定格回転速度より高い第4の指令値に設定し、ここで回転速度を一旦落ち着かせ、水撃等の過渡現象が落ち着くのを待ち、その後、指令値を徐々に下げていくことによって回転速度を電力系統の周波数相当の同期速度へと徐々に導くことである。

【0018】次に、指令値を一旦は第4の指令値に設定し、ここで回転速度を一旦落ち着かせ、水撃等の過渡現象が略落ち着くのを待ち、その後は、回転速度指令値を有害な水撃が生じない程度にゆっくり下げていって、回

転速度を電力系統の周波数相当の同期速度にゆっくり導くことである。

【0019】

【発明の実施の形態】まず、本発明の概念を説明する。なお、実施例は、概念を説明した後、詳細に説明する。一般的に、ポンプ水車、特に高揚程ポンプ水車の場合、ランナーは、ポンプ運転時に高揚程を得るために、充分なる遠心ポンプ作用を発揮するように設計される。

【0020】しかしながら、この設計が、ポンプ水車の水車運転には悪影響を与える。ここで、まず、S字特性を説明する。すなわち、S字特性と呼ばれる特性が大なり小なり現れ、これを完全に回避するのは難しいと考えられている。ポンプ水車の流量特性は、一般に、案内羽根開度をパラメータにして単位落差当り回転数( $N_1 = N / \sqrt{H}$ )と単位落差当り流量( $Q_1 = N / \sqrt{H}$ )との関係を示す一群の特性曲線で表す。他方、ポンプ水車のトルク特性は、案内羽根開度をパラメータにして単位落差当り回転数( $N_1 = N / \sqrt{H}$ )と単位落差当りトルク( $T_1 = T / H$ )との関係を示す一群の特性曲線で表す。なお、これら2種類の特性曲線を総称して完全特性と呼ぶ。

【0021】なお、上記流量特性曲線は、水車運転領域において、 $N_1$ の値の増加に伴って $Q_1$ の値が減少する第1の部分と、 $N_1$ の値の減少に伴って $Q_1$ の値が減少する第2の部分とを有する。ところで、前記第1の部分の中にも、 $N_1$ の値の増加に伴って $Q_1$ の値が比較的ゆるやかに減少する部分（これを第1の部分の緩変部分と呼ぶ）と、 $N_1$ の値の増加に伴って $Q_1$ の値が比較的急激に減少する部分（これを第1の部分の急変部分と呼ぶ）がある。本明細書においては、説明の便宜上、前記第2の部分と、前記第1の部分の急変部分をまとめてS字特性部分と称する。S字特性部分における水車運転にあつては、単位落差当りトルク( $T_1$ )もまた単位落差当り流量 $Q_1$ と同様に、単位落差当り回転数( $N_1$ )の増加に伴い、減少する第1の部分と、 $N_1$ の減少に伴い減少する第2の部分がある。

【0022】ポンプ水車の発電モードの通常運転は、上記第1の部分の緩変部分において行われる。しかしながら、同じ有効落差の下でも、すなわち、同じ $N_1$ の下でも水車出力が小さくなればなるほどS字特性部分が通常運転の $N_1$ 範囲に接近してくる。従って、最低有効落差で無負荷運転する場合には、運転する $N_1$ が最大になるのに対して、S字特性部分が最も通常運転の $N_1$ 範囲に接近するので、運転点がS字特性部分に入り込み上記第1の部分の急変部分に位置するケースが少なくない。特にポンプ水車を発電モードで起動する場合には、流量を少なくともゼロから無負荷相当流量まで増加させる必要があり、水撃が伴うので、運転点が過渡的にS字特性に深く入り込む可能性が出てくる。

【0023】水車運転領域においてS字特性を有するポ

ンプ水車の特性を、図14(A)および図14(B)に示す。図14(A)においては、ポンプ水車の特性が、案内羽根開度をパラメータにとり、単位落差当りの回転数( $N1$ )と単位落差当りの流量( $Q1$ )との関係として示されている。一方、図14(B)においては、ポンプ水車の特性が、同じパラメータにより、単位落差当りの回転数( $N1$ )と単位落差当りのトルク( $T1$ )との関係として示されている。

【0024】上記において、符号 $N$ 、 $Q$ 、 $H$ および $T$ は、それぞれ、ポンプ水車の回転数、流量、有効落差およびトルクを示す。

【0025】特性曲線1および1'は、所定の比較的大きな案内羽根開度の下で得られる。特性曲線2および2'は、それよりも小さな案内羽根開度の下で得られる。特性曲線3および3'は更にそれよりも小さい案内羽根開度の下で得られる。

【0026】特性曲線1の第2の部分、すなわちa-d-h部分、においては、 $Q1$ の値は、 $N1$ の減少に伴い減少する。同様に、曲線部分b-e-iは、特性曲線2の第2の部分で、 $N1$ の減少に伴い $Q1$ が減少する部分である。さらに、曲線部分c-f-jは、特性曲線3の第2の部分で、同様に、 $N1$ の減少に伴い $Q1$ が減少する部分である。一見して明らかなように、特性曲線1の第2の部分a-d-hは、特性曲線2の第2の部分b-e-iより長く、特性曲線2の第2の部分b-e-iは、特性曲線3の第2の部分c-f-jよりも長い。このことは、案内羽根開度が小さくなるとS字特性部分の長さが短くなることを意味する。

【0027】図14(A)におけると同様に、図14(B)においても、曲線部分a'-d'-h'、b'-e'-i'およびc'-f'-j'は、それぞれ特性曲線1'、2'および3'の第2の部分である。

【0028】図14(B)は、図14(A)と密接な関係がある。例えば、図14(A)の曲線3上の $Q1=Q1x$ 、 $N1=N1x$ を満たす点xは、図14(B)の曲線3'上の点x'に対応している。点x'は、 $T1=T1x'$ 、 $N1=N1x'$ ( $=N1x$ )を満たす点である。同様に、図14(A)における点a、b、c、d、e、f、h、iおよびjはそれぞれ図14(B)における点a'、b'、c'、d'、e'、f'、h'、i'およびj'に対応している。曲線Nrは、無負荷流量曲線である。曲線1、2、3と曲線Nrとの交点 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ は、それぞれ、曲線1'、2'、3'と直線 $T1=0$ との交点 $\alpha'$ 、 $\beta'$ 、 $\gamma'$ に対応している。

【0029】発電モードで起動する時を考えると、発電機負荷(水車出力) $=0$ のままで、回転速度をゼロから定格の $N_0$ まで上げる必要があるが、このことは、上述の $N1-T1$ 特性上で考えれば、運転点を、停止中の原点( $N1=0$ 、 $T1=0$ )から、 $T1=0$ の水平線と $N1=N_0/\sqrt{H}$ の垂直線の交点まで左側に移動させるこ

とに他ならない。例えば、 $N$ が $N_0$ まで上昇した時点で、 $T1=0$ 線とその時の $H$ の下で求まる $N1=N_0/\sqrt{H}$ の線の交点が $\alpha'$ 点と $\beta'$ 点の間に来る場合には、案内羽根開度を1と2の間まで開く必要がある。他方、上述の水車起動を $N1-Q1$ 特性上で観察すると、運転点は起点( $N1=0$ 、 $Q1=0$ )からNr線上の $\alpha$ 点と $\beta$ 点の間点まで移動することになる。すなわち、 $Q1$ は0から $\alpha$ 点の $Q1$ と $\beta$ 点の $Q1$ の間値まで増大させ、流量 $Q$ も相当量まで増やす必要がある。ところで、この水車に直結される発電機が同期発電機の場合には、電力系統に並列するための回転速度、すなわち、定格回転速度 $N_0$ は変らないが、 $N1$ は落差次第で大きくなったり、小さくなったりする。

【0030】すなわち、最低落差の場合には、最大 $N1$ の下で、回転速度を電力系統周波数に同期させる必要があるが、この場合には、運転点が、もはや、流量特性曲線の第1の部分の緩変部分から外れて、第1の部分の急変部分に位置するようになる。ところで、設計落差が高くなるにつれて、ポンプ水車の形状は偏平にせざるをえないので、S字特性が $N1$ の低い側へ移動してくる傾向は避けられない。従って、高落差ポンプ水車の最低落差における起動時には、運転点がS字特性部分に突入または異常接近することになる。

【0031】その結果、回転速度が定格値付近まで上昇しても、それから、動揺を繰り返して、発電機をスムーズに同期できないという問題が発生する。同期できなければ、発電プラントとして使えないことになるので、その損害は甚大である。

【0032】図8は典型的な発電モード起動を行った場合のポンプ水車の運転点軌跡を示す。なお、Y2は無負荷の時回転速度が丁度定格回転速度まで上昇するような案内羽根開度の下で得られる $N1$ 対 $Q1$ 特性、すなわち、無負荷開度における特性曲線で、Y1は無負荷開度より若干小さい案内羽根開度の下で得られる $N1$ 対 $Q1$ 特性、Y3は無負荷開度より若干大きい案内羽根開度の下で得られる $N1$ 対 $Q1$ 特性である。起動前の運転点は①でここでは $N1=0$ 、 $Q1=0$ である。ガバナに起動指令を与えて、ガバナからの案内羽根開度指令信号の上限制限を行う負荷制限装置を開いていくと案内羽根は開き始める。しかし、まだ水車は回転を始めないので、ポンプ水車の運転点は図8の①から②に向かって移動する。運転点が②に至り、回転速度が上昇を開始する。その後、回転速度はガバナの制御の下で上昇を続ける。この段階ではポンプ水車の運転点は②から③に向かって移動していく。より詳しく説明すると、 $N1$ が定格回転速度相当の $N1P$ に達する直前から(すなわち、 $N1P$ より僅かに低い $N1$ から)、当ポンプ水車の実際の回転速度と電力系統の周波数相当の同期速度を比較しながら、パルス信号を発しガバナの速度調整装置を制御する揃速装置が投入される。このため、この時点以後は与えられ

た速度調整値に回転速度を合わせようとして制御するガバナ自身と、速度調整値を同期速度に合わせようとして制御する揃速装置の二重の制御によって回転速度の同期が計られる。

【0033】しかしながら、図8のように低落差での起動時に㊦点がS字特性に異常接近または入り込んでいる場合には、同期できない可能性がある。その理由は、運転点の㊦点への接近がガバナ任せになっていて水撃の動揺を的確に抑える手段がないためである。

【0034】この㊦点付近では $\partial Q1/\partial N1$ の勾配が急激に立ってくるので、ガバナを調整して回転速度をいかにゆっくり同期速度に近づけたとしても流量でみれば変化が速過ぎて水撃が過敏に反応する可能性があるためである。

【0035】回転速度ガバナが制御する対象の機械はポンプ水車および発電機であるが、本発明者は、初期条件の近傍での微小変化を想定するならば、この制御対象を十分な精度で図2のように線形模擬できることを解明した。なお、 $y$ は制御対象にとっては入力である案内羽根開度(p.u.)、 $p_t$ は水車出力(p.u.)、 $n$ は制御対象にとっては出力となる回転速度(p.u.)である。また、 $T_m$ は水車および発電機の慣性効果の時定数(sec)で $I(2\pi/60)^2 N_0^2/P_0$ に相当し、 $T_w$ は水車の上下流水路の時定数(sec)で $\Sigma(L_i V_i)/(g \cdot H)$ に相当する。ここで、 $I$ は慣性二次モーメント、 $P_0$ は水車の定格出力、 $L_i$ は各管路の長さ、 $V_i$ は定格出力時の各管路内の流速、 $g$ は重力の加速度、 $S$ はラプラス演算子である。また、 $\alpha, \beta, \gamma, \epsilon, \delta$ はそれぞれ図2に付記したように定義される。ここで、 $\Psi$ は水車効率を示す。また、添字の $r$ は定格値を示し、添字の“0”はこの線形化模擬を行う点の初期値を示す。

【0036】本発明者はさらに次の点を発見した。すなわち、運転点が $N1$ 対 $Q1$ 特性曲線の第1の部分の緩急部分にある時は、それがS字特性に近いところでも、 $\alpha, \beta, \gamma$ いずれも正の値になり、ガバナによる回転速度制御系の安定性が特に損なわれることはないが、 $N1$ が僅かに大きい第1の部分の急急部分においては、 $\beta$ の符号が急に負に転換し、ガバナによる回転速度制御系の安定性が急に悪化するという傾向があるという点である。具体例で示すと、図6の運転点(3A)では $\beta$ は正であるが、運転点(3)では $\beta$ が負になる。この傾向を踏まれば、 $N1$ が高くなったら、すなわち、 $N$ が高くなったら、ガバナの安定性がより向上する方向に調整して、上述のポンプ水車特性の悪化を補償するべきである。

【0037】さらに、図6の傾向を踏まれば、まだ $\beta$ の符号が反転しない $N1=N1Q$ 付近(すなわち、運転点(3A)付近)まで $N1$ が上昇した段階で一旦回転速度を安定させ、水撃等の過渡現象が略落ち着くのを待ち、その後は運転点㊦に至るまで、有害な水撃を発生さ

せない程度に充分ゆるやかに回転速度(すなわち $N1$ )を上げていくのが合理的である。そうすれば、運転点㊦で比較的スムーズに電力系統の周波数に同期させることができる筈である。

【0038】さらに、運転点(3A)から運転点㊦までの操作は、ガバナの速度調整装置をゆっくりと上げていくことで達成できる。回転速度が同期速度に近くなると、途中から、揃速装置が投入され、速度調整装置が揃速装置による同期制御モードに入るがその場合でも揃速装置の操作が上記の配慮によって充分ゆっくり行われるように揃速装置を調整しておくべきである。

【0039】発電モード起動時に同期が行われる運転点がS字特性に異常接近するのは、一般に極低落差の時に限られる。従って、回転速度が定格値付近まで上昇したところで行うガバナの安定性強化切換は、所定の落差以下を条件に活かすようにすればよい。

【0040】さらに、ガバナの演算部がPID形の場合には、積分演算要素のゲインだけを切換えるようにすれば、切換時のbump現象を回避できる。比例演算要素のゲインの場合は切換時若干のbumpが伴うが一般には許容可能なレベルである。

【0041】さらに、前述の図6の運転点(3A)のようにS字特性に近いものの、 $\beta$ の符号が正のまま留まっている領域は、回転速度上昇に伴う流量減少勾配、 $|\partial Q/\partial N|$ または $|\partial Q1/\partial N1|$ または相当の状態量が急激に立ち上がる直前である。このため、前記第1の指令値をこの近辺に設定すれば合理的である。

【0042】さらに、上述の定格回転速度近辺におけるガバナの安定性強化案と昇速過程で前記第1の指令値にて一旦安定させ、その後ゆっくり上げる案を組み合わせればより効果的な低落差起動対策が可能である。

【0043】さらに、図7のように回転速度を上げながら運転点を㊦から定格速度より高い運転点(3B)まで移動させ、ここで一旦ホールドしても、上述のように定格回転速度近辺においてガバナの安定性を強化する案を採用しておけば、ここで一旦安定させることは可能である。その上で、回転速度を充分ゆっくり下げながら準静的に運転点を(3B)から㊦に移行させ、ここでスムーズに同期させることは可能である。この場合にも、同期直前の流量制御をガバナ任せにしないで済む。すなわち、流量の調整速度が可調整になるので運転点㊦への軟着陸が可能になるところが優れている。

【0044】さらに、運転点(3B)で水撃は一旦収まるので、運転点を(3B)から㊦に移行させる段階では、有害な水撃の振れが起きないようにガバナの速度調整の下げ速度を充分に抑える。このようにすれば、スムーズに同期が可能となるはずである。この場合、当機の回転速度を系統周波数に同期させるためガバナの速度調整装置を制御する揃速装置は運転点が㊦から(3B)に移動する昇速過程では活かさず、運転点が(3B)から㊦

に移動する降速過程で活かすようにする。もちろん、その場合にも、結果的にガバナの速度調整装置の下げ速度が過大にならないよう、必要に応じて制限を掛けるべきである。

【0045】本発明の実施例説明に入る前に、図8のような例によるポンプ水車の発電モード起動につき、シミュレーション解析例を紹介する。

【0046】図9は同シミュレーション解析から得られたチャートの一つで、N、Y、Q、Ptの時間応答グラフである。この場合には、ガバナの速度調整装置は、図5の実線または点線のように、起動操作に先立って定格回転速度相当の1.0(p.u.)に設定し、案内羽根開度制限装置も起動操作に先立って無負荷開度(約0.28)より若干高い所定値(0.4)に設定した。また、ポンプ水車は案内羽根開度が0.29(p.u.)まで開いた時点で回転を開始するとした。なお、ガバナのKp、Ki、Kdゲインはそれぞれ、1.07、0.0743、0.924とした。なお、Tw=2.88(sec)、Tm=10.3(sec)である。この結果、Nは比較的スムーズに定格回転速度に収斂しているように見えるが、流量は大きくオーバーシュートし、その後もかなり大きく動揺しており、かなりの水撃を伴って、同期が懸念されるほどの動揺が起きていると考えられる。すなわち、このシミュレーション解析では、ポンプ水車の特性曲線は水撃動揺が起きても変動しないと仮定している等、実際より条件を甘く仮定している部分があるためである。図10はこのシミュレーション解析から得られた別のチャートでモデル水車に換算したN1対Q1平面上の運転点軌跡を示す。このグラフによれば、Nが定格回転速度近辺になると回転速度制御系の安定性が極端に低下し、N1はほとんど変化しなくても、Q1が大きく動揺する様子がよく解る。図11は図10を補足するものでモデル水車に換算したN1、Q1及びN1の各々の応答時間を示す図である。

【0047】次に、装置構成を説明する。図1は本発明の一実施例のポンプ水車のブロック図である。1は水車の回転速度Nを検出する速度検出部、Xnは前記速度検出部からの速度検出信号、2は回転速度の基準値を設定する速度調整部、X0は速度調整部2からの設定値を示す。3は速度調整部設定値X0と前記速度検出信号Xnの差、すなわち、速度偏差信号X0-Xnと速度調定率設定部からの復元信号Xσを突き合わせる加算器である。この結果得られる制御偏差信号Xeが回転速度制御手段の主たる演算部を構成するPID演算回路に入力される。

【0048】発電モード起動の前半、すなわち、停止から回転速度が第1の指令値まで上昇するまでの間は、比較的速いガバナ応答が得られるように比較的高いゲインに設定した比例演算要素(P要素)4aを使い、回転速度が第1の指令値を超えれば、安定性が強化されるよう

に比較的低いゲインに設定した比例演算要素(P要素)4bを使う。このゲイン切換を行うのが接点19a、19bで、これらは一種の速度リレーの接点である。当然ながら、前者の比例演算要素のゲインKpa>後者の比例演算要素のゲインKpbとなっている。同様に、停止から回転速度が第1の指令値まで上昇するまでの間に使用する積分演算要素(I要素)5aと回転速度が第1の指令値を超えたことを条件に使用する積分演算要素(I要素)5bの切換も接点19a、19bで行われる。なお、前者の積分ゲインKia>後者の積分ゲインKibである。なお、接点19a、19bは同時にスイング動作して下側接点を開き上側接点を閉じる。接点19a、19bが各2個ある理由は比例演算要素、積分演算要素共に同時に切り換えするためである。

【0049】微分演算要素6(D要素)からは出力信号Zdが出力される。また、接点19bからは比例演算要素の出力信号Zp、積分演算要素の出力信号Ziが出力される。

【0050】そして、これらの3つの出力信号は加算部7で加算され、その出力Zが回転速度制御手段の主演算部が求める案内羽根開度指令を示している。23はLow Value Gate、すなわち、低値選択回路で、2つの入力ZとGLを比べて小さい方の信号を最終の案内羽根開度指令Zzとして出力する。ところで、22は案内羽根開度制限装置または負荷制限装置と呼ばれるものでGLは同装置で設定される案内羽根開度の上制限値である。すなわち、ガバナの主演算部からいかに大きな案内羽根開度指令Zzが出されても22のLVGの出力はGLに制限されたままなので、上述のような名称が付けられている。

【0051】他方、実際の案内羽根開度は信号Yで示される。加算部8、リミッター9、油圧サーボモーター10は一種の油圧増幅部になっている。かくして、加算部8、リミッター9、油圧サーボモーター10はリミッター付一次遅れ要素を構成し、最終の案内羽根開度指令Zzを増幅して水量制御手段である案内羽根を直接操作するに充分なストロークと操作力をもつ案内羽根開度Yに変換する増幅器である。Ye1は最終の案内羽根開度指令Zzと実際の案内羽根開度Yの偏差を示す。リミッター9のθRは案内羽根の開速度をθR.Cyに、θLは閉速度をθL.Cyに制限するためのものである。Ye2は偏差信号Ye1を上記開閉速度制限を考慮して制限した信号である。上記のYe1、Ye2、リミッター9はブロック線図のイメージで説明したが、具体的な製品イメージでは、Ye1は変位制限が与えられる前の配圧弁プランジャーの変位、Ye2は変位制限を受けた後の配圧弁プランジャーの変位と考えてもよい。

【0052】なお、加算部11には出力調整部13から所望出力相当の案内羽根開度設定信号Yaが与えられる。なお、Yaは発電モード起動の際であれば、無負荷

開度相当信号になる。もし実際の案内羽根開度 $Y < Y_a$ の場合にはその差がゼロになるまでガバナーのPID演算部に開信号 $\sigma (Y_a - Y)$ が送り続けられるので、やがては $Y = Y_a$ となりその段階で落ち着く。速度調定率設定部12は上記の係数 $\sigma$ を設定する部分である。換言すると $\sigma$ は速度検出信号 $X_n$ の変化に対する案内羽根開度 $Y$ の変化の割合を決めるゲインで、一般には電力系統の中での当該プラントの役割、すなわち、負荷分担の割合を考慮して一度決めたら変更されないものである。また14は水路系を含む水車と発電機を総合した対象機を示す。

【0053】ここで、速度調整部2、出力調整部13、速度調定率設定部12の作用を図12(A)、図12(B)により説明する。なお、ここで無負荷時の案内羽根開度は $0.2(p.u.)$ と仮定する。図12(A)の右下がりの実線はこのプラントが電力系統に接続される直前の状態を示す。すなわち、定格値 $N$ (同期速度)ラインとこの実線の交点が案内羽根開度を示すが、丁度無負荷開度 $0.2$ になっている。なお、水車を起動する前はこの実線はこれより低い位置に設定される。例えば図12(A)の点線の位置に設定される。このように図12(A)の実線より下側でこの実線を上下に平行移動させるのが、速度調整部2である。この実線を上下に平行移動した時無負荷開度 $0.2$ 線上の交点が上下に動くことから速度調整部の名が付いている。他方、このプラントが電力系統に接続された後の動きについて図12(B)により説明する。この場合は、実線と定格速度との交点は $Y = 1.0$ になっている。すなわち、 $100\%$ 負荷運転中を示す。図12(A)の並列時の実線位置は図12(B)では点線の位置になる。このように実線を平行移動させて案内羽根開度を調整するのが出力調整部13である。出力調整部13は、実線を水平方向に平行移動させるものであるが、無限大電力系統に連繋された状態では、回転速度は事実上 $1.0$ に固定されるので、実線の水平方向移動に伴う $N = 1.0$ 線上の交点は左右に動くことから、この名が付けられている。図12(B)の実線の設定では、定常時は $N = 1.0$ 、 $Y = 1.0$ で運転されるが、今、仮に電力系統の周波数が $3\%$ 上昇し $N = 1.03$ になったとすると、 $Y$ は $0.2$ になる。電力系統周波数の上昇幅が $1.5\%$ であれば、 $Y = 0.6$ に閉め込まれる。このように周波数変化幅と案内羽根開度込み幅の間に比例関係を与えているのが、速度調定率設計部12である。速度調定率設計部12のゲインを大きくすれば、図12(B)の実線の右下がり勾配はよりきつくなり、周波数変化に対する案内羽根開度応答幅のゲインが下がってくる。

【0054】図6は本発明を使ったポンプ水車の発電モード起動時の運転点軌跡を示す。起動前の運転点は①で座標は( $N1 = 0$ ,  $Q1 = 0$ )である。この段階で、ガバナーの速度調整装置を定格回転速度相当の $N1 = N1P$ よ

りかなり低い(例えば $0.95N1P$ )  $N1 = N1Q$ 相当の第1の指令値に設定する。具体的には図3の実線または点線のように設定する。その上で22案内羽根開度制限装置の開度を徐々に開けていく。この段階では、ガバナー自身の案内羽根開度指令 $Z$ は、図12(a)のように案内羽根を全開、すなわち、 $1.0(p.u.)$ にしようとしているので、22案内羽根開度制限装置の設定値 $GL$ ( $0$ から無負荷開度より大きい起動開度、例えば、 $0.4$ まで開操作中)の方がはるかに小さい。従って、最終の案内羽根開度指令 $Z_z$ としては $GL$ がそのまま出力される。かくして、22案内羽根開度制限装置の開度が充分開き、水車の発生トルクがランナ他回転部の静摩擦トルクを上回った段階で回転速度の上昇が始まる。この時のポンプ水車の運転点が②である。なお、22案内羽根開度制限装置の設定値 $GL$ は起動のための所定の開度(例えば $0.4$ )に達したら、その後は、当機が無事電力系統に接続され本来の発電運転が始まるまで、その開度のまま保持される。かくして、当機の運転点は回転速度の上昇に伴って、図6の②から $N1 = N1Q$ の(3A)へと移動する。なお、 $N1$ が $N1Q$ 近辺にある時は、 $S$ 字特性の影響が小さく、 $\partial Q1 / \partial N1$ ,  $\partial T1 / \partial N1$ 等の勾配も未だなだらかで、上述の線形化模擬モデルの係数 $\beta$ はまだ正のままである。従って、ここでは、ガバナーによる回転速度制御は極めて安定で、起動操作を速く行い、運転点を①から(3A)まで比較的短時間で移動させてきたとしても、この(3A)点において一旦回転速度を安定させ、水撃を静めるのは難しいことではない。まして、運転点が(3A)に至る前に、速度リレー19の接点を使って、 $Kpa \rightarrow Kpb$ ,  $Kia \rightarrow Kib$ へとガバナーゲインを安定側に切換しておけばより効果的である。

【0055】そしてその上で、ガバナーの速度調整装置の設定を図3の後半のように、 $N1 = N1Q$ 相当から $N1 = N1P$ 相当へと極めてゆるやかに(または準静的に)引き上げていく。特に運転点(3A)で一旦静めた水撃が再発生しないよう、充分ゆるやかに操作する必要がある。この場合には、運転点は点(3A)から点③まで図6のように、NR線(無拘束速度線)に沿って徐々に移動することになる。

【0056】この最後の昇速段階で、25揃速装置が投入され、電力系統周波数と比較しながらの自動回転速度調整(ガバナーの速度調整装置経由で行われる)が開始される場合には、上述の準静的移行の主旨に反しないよう応答速度を充分抑えておく必要がある。

【0057】図14は上述のような本発明の実施例によるポンプ水車の起動時のシミュレーション解析例で図9の技術に対応するものである。この場合、 $100$ 秒の時点までは回転速度の目標値を $0.95(p.u.)$ に設定し、一旦過渡応答を安定化させ、 $100$ 秒の時点から $40$ 秒かけて回転速度の目標値を $0.95(p.u.)$ から

1.0(p.u.)に上げている。なお、回転速度が0.94(p.u.)以上になったらガバナゲイン $K_p$ を1.07→0.503、 $K_i$ を0.0743→0.0372にそれぞれ自動切換えするようにしている。図14、図15(A)から明らかなように100秒の時点までに起動後の過渡応答は完全に落ち着き100秒以降の $N$ 上昇は狙い通り準静的に行われている。なお、図14の例では起動時の目標回転速度を1.0(p.u.)から0.95(p.u.)に下げているため、本来ならば、負荷制限の設定値も0.4(p.u.)より下げるべきであるが、図9と同等の起動時の過渡現象をあえて起こさせるため0.4(p.u.)のままとした。

【0058】図7は本発明の別の実施例である。この場合には、速度調整装置を図4のように調整し、運転点 $N_1$ を②点のゼロから定格回転速度相当の $N_{1P}$ を超えて(3A)点の $N_{1R}$ まで一気に上げる。そして、(3B)点において、一旦ホールドし、 $N$ が充分安定化し、水撃が充分静まるのを待つ。なお、この②から(3B)への運転点移動の際、特に後半において、S字特性による流量減少、すなわち、 $\partial Q_1 / \partial N_1$ の勾配の立ち上がりによる流量減少を、案内羽根の開操作による流量増加、すなわち、 $(\partial Q_1 / \partial Y) \Delta Y$ による流量増加で相殺するように工夫すると(3B)点での安定化が早まる。このための速度調整装置の制御案の一例を図12に示す。なお、この昇速の過程で、回転速度が定格値に近くなったら、速度リレー19の接点を使って、ガバナゲインを $K_{pa} \rightarrow K_{pb}$ 、 $K_{ia} \rightarrow K_{ib}$ とそれぞれ自動切換し、回転速度制御系の安定性を増すようにしている。

【0059】その後は、図4の後半のような速度調整装置の準静的下げ操作によって、点(3B)で得られた安定状態をほとんど保持したままゆっくりと点③へ運転点を移行させる。この場合は、回転速度をゆっくりと下げながら同期するので、揃速装置はこの点(3B)から点③への移行の後半で投入することになる。

【0060】

【発明の効果】以上説明したとおり、本発明によれば、水車起動時の回転速度の安定性の改善が可能となる。詳細には、ポンプ水車の低落差起動時の回転速度制御をより安定でより確実なものとし、さらに、それによって、ポンプ水車の運転範囲を低落差側に広げることが

可能となる。さらに、それによって、ポンプ水車のポンプ性能と水車性能の両立をより容易にし、ポンプ水車の高効率化を可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のポンプ水車の回転速度制御系全体のブロック線図。

【図2】本発明者が提案しているポンプ水車の線形模擬モデル。

【図3】本発明によるポンプ水車起動時の速度調整装置の操作例1。

【図4】本発明によるポンプ水車起動時の速度調整装置の操作例2。

【図5】ポンプ水車の例の起動時の速度調整装置の操作方法を示す図。

【図6】本発明のポンプ水車の起動方法を示す運転点軌跡の例1。

【図7】本発明のポンプ水車の起動方法を示す運転点軌跡の例2。

【図8】ポンプ水車の例の起動方法を示す運転点軌跡。

【図9】一例によるポンプ水車起動時の挙動図(低落差の場合)。

【図10】図9の技術によるポンプ水車起動時の模型水車換算平面上の運転点軌跡図。

【図11】図9の技術によるポンプ水車起動時の模型水車換算変数個々の応答を示す図。

【図12】ガバナの速度調整、速度調定率の機能を説明する図。

【図13】本発明によるポンプ水車起動時の速度調整装置の操作例3。

【図14】ポンプ水車の特性図。

【図15】本発明によるポンプ水車の起動時の挙動図(低落差の場合)。

【図16】図14におけるポンプ水車の起動時の模型水車換算平面上の運転点軌跡図。

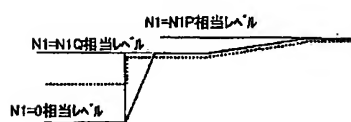
【図17】図14におけるポンプ水車起動時の模型水車換算変数個々の応答を示す図。

【符号の説明】

1…速度検出器、2…速度調速器、3…加算器、10…油圧サーボメータ、13…出力調整部、14…発電機、19…PID演算回路。

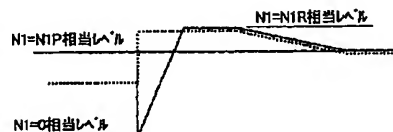
【図3】

図 3



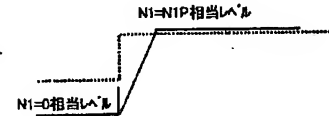
【図4】

図 4

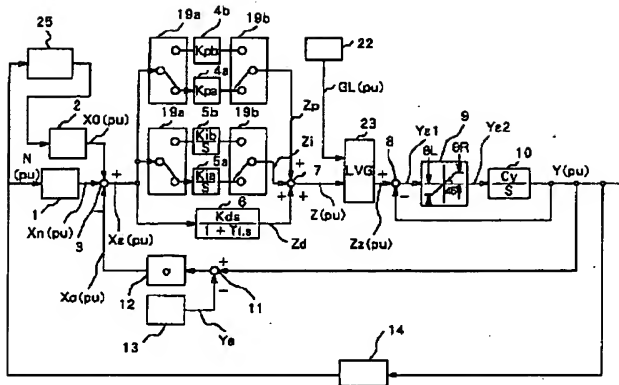


【図5】

図 5

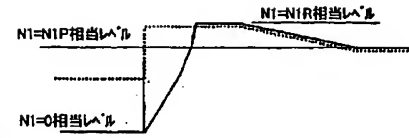


【図1】



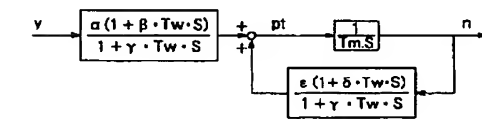
【図13】

図 13



【図2】

図 2



$$\alpha = \left( \frac{\partial Q}{\partial Y} \frac{\eta_0}{Q_r} + \frac{\partial \psi}{\partial Y} \frac{p_0}{\psi_r} \right) h_0 \cdot Y_r$$

$$\beta = \frac{[-\eta_0 \cdot \psi_r \cdot \frac{\partial Q}{\partial Y} + h_0 \cdot H_r \cdot (\frac{\partial \psi}{\partial Y} \frac{\partial Q}{\partial H} - \frac{\partial Q}{\partial Y} \frac{\partial \psi}{\partial H})] \alpha_0}{(\frac{\partial Q}{\partial Y} \eta_0 \cdot \psi_r + \frac{\partial \psi}{\partial Y} Q_r \cdot p_0) h_0}$$

$$\gamma = \frac{\partial Q}{\partial H} \frac{H_r}{Q_r}$$

$$\varepsilon = \left( \frac{\partial Q}{\partial N} \frac{\eta_0}{Q_r} + \frac{\partial \psi}{\partial N} \frac{p_0}{\psi_r} \right) h_0 \cdot N_r$$

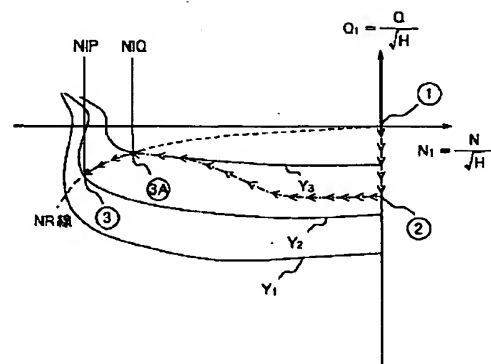
$$\delta = \frac{[-\eta_0 \cdot \psi_r \cdot \frac{\partial Q}{\partial N} + h_0 \cdot H_r \cdot (\frac{\partial \psi}{\partial N} \frac{\partial Q}{\partial H} - \frac{\partial Q}{\partial N} \frac{\partial \psi}{\partial H})] \alpha_0}{(\psi_r \cdot \eta_0 \cdot \frac{\partial Q}{\partial N} + \alpha_0 \cdot Q_r \cdot \frac{\partial \psi}{\partial N}) h_0}$$

$$v = \frac{\Delta Y}{Y_r} \quad n = \frac{\Delta N}{N_r} \quad h = \frac{\Delta H}{H_r} \quad q = \frac{\Delta Q}{Q_r} \quad p_t = \frac{\Delta p_t}{p_{tr}} \quad \eta = \frac{\Delta \psi}{\psi_r}$$

$$\eta_0 = \frac{p_0}{\psi_r} \quad p_{t0} = \frac{p_{t0}}{p_{tr}} \quad \alpha_0 = \frac{Q_0}{Q_r} \quad h_0 = \frac{H_0}{H_r}$$

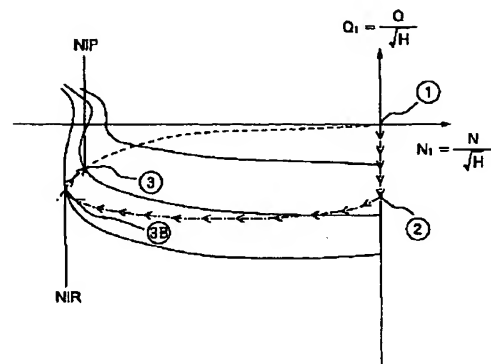
【図6】

図 6



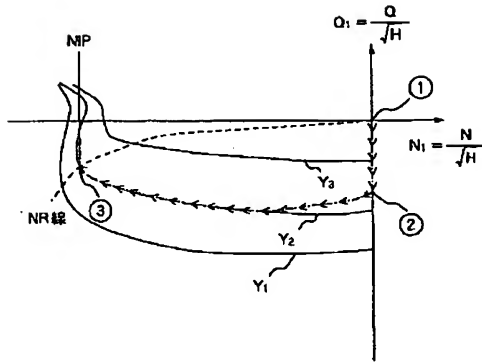
【図7】

図 7

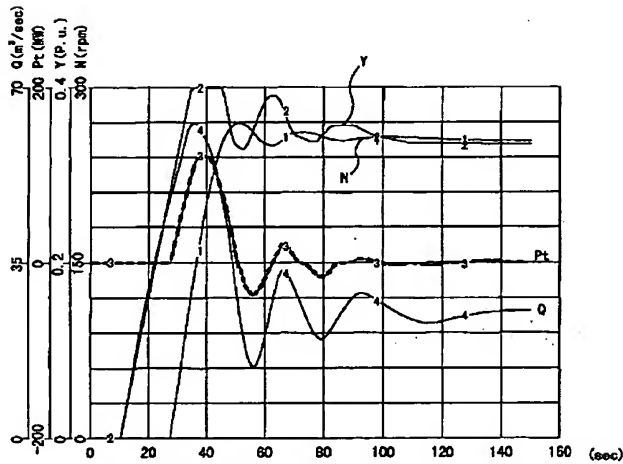


【図8】

図 8

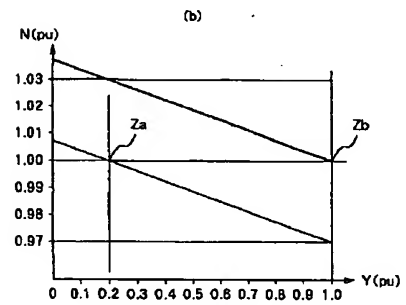
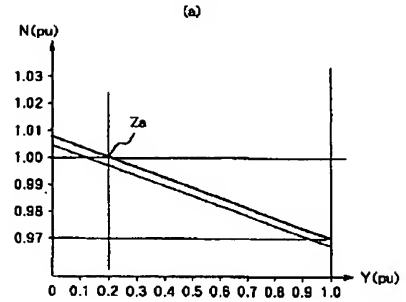


【図9】



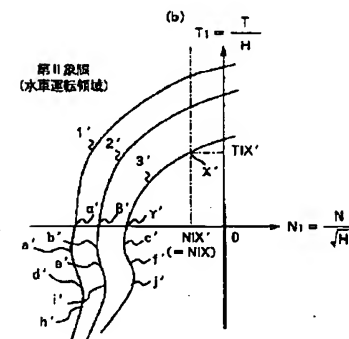
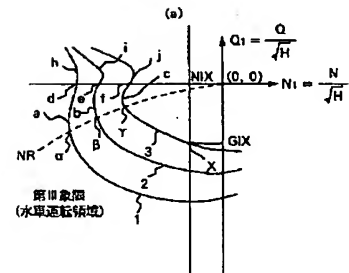
【図12】

図 12



【図14】

図 14



【図10】

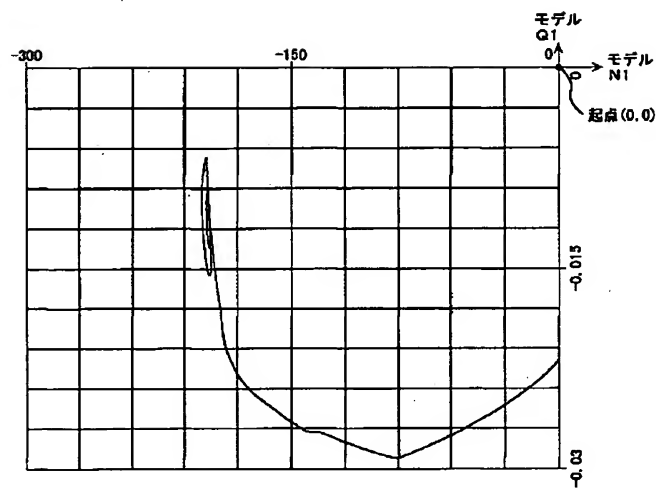


図 10

【図11】

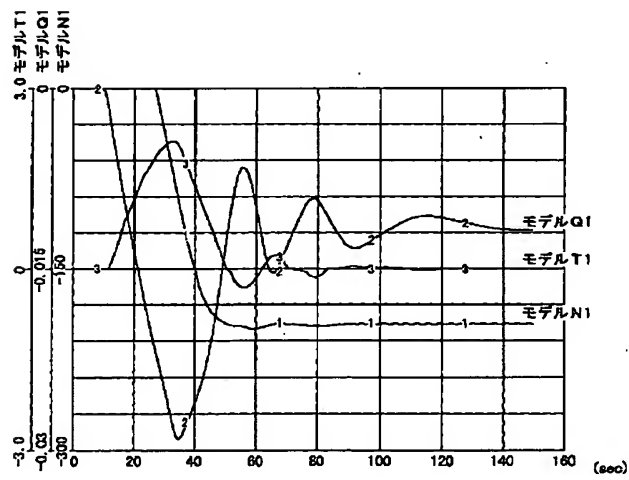
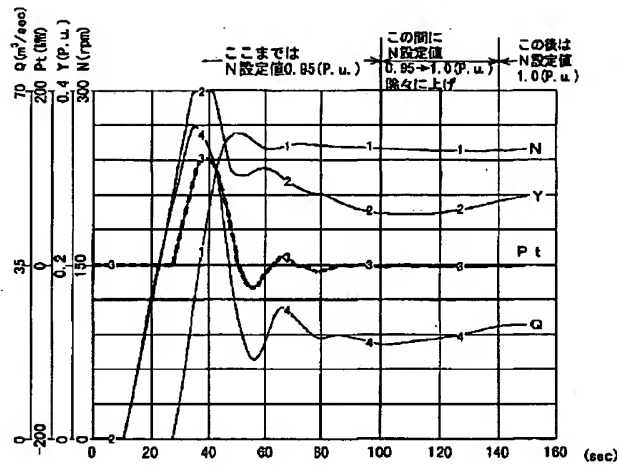


図 11

【図 15】



【図17】

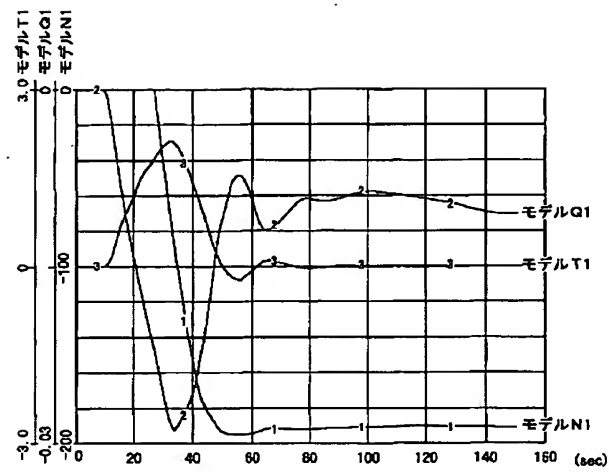


図 17

フロントページの続き

Fターム(参考) 3H072 AA17 BB19 BB33 CC42 CC89  
3H073 AA13 BB04 BB23 BB24 CC12  
CE06 CE26  
5H590 AA02 CE01 EA01 EA07 EA10  
FA01 HA12 HA27 JA04 JA12  
JA13 JA14 JA18 JB06 JB18